

Rec'd

08 JUN 2003

10/537845

CT/JP 03/15830

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

11.12.03

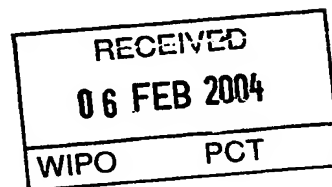
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2002年12月11日

出願番号
Application Number: 特願2002-359871
[ST. 10/C]: [JP 2002-359871]

出願人
Applicant(s): 日本電信電話株式会社
三菱電線工業株式会社

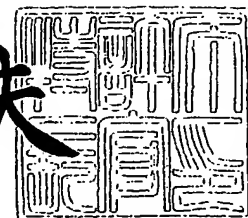


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 1月22日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



BEST AVAILABLE COPY

出証番号 出証特2003-3112363

【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH145756

【提出日】 平成14年12月11日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/16
G02B 6/18

【発明の名称】 単一モードフォトニック結晶光ファイバ

【請求項の数】 2

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 久保田 寛和

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 川西 悟基

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 鈴木 和宣

【発明者】

【住所又は居所】 兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線工業株式会社
伊丹製作所内

【氏名】 鈴木 聡人

【発明者】

【住所又は居所】 兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線工業株式会社
伊丹製作所内

【氏名】 田中 正俊

【発明者】

【住所又は居所】 兵庫県伊丹市池尻 4 丁目 3 番地 三菱電線工業株式会社
伊丹製作所内

【氏名】 藤田 盛行

【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【特許出願人】

【識別番号】 000003263

【氏名又は名称】 三菱電線工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100077481

【弁理士】

【氏名又は名称】 谷 義一

【選任した代理人】

【識別番号】 100088915

【弁理士】

【氏名又は名称】 阿部 和夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013424

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9701393

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 単一モードフォトリック結晶光ファイバ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 幾何学的半径 ρ のコア部の周囲に、ファイバの伸長方向に延在する直径 d の複数の円柱状空孔が中心間隔 Λ で周期的に配置されたクラッド部を備え、

前記コア部および前記クラッド部はガラスもしくはプラスチックからなり、

前記空孔の中心間隔 Λ は伝搬光の波長 λ の 1.5 倍以上とされるときに、次式により求められる正規化周波数 V が 2.4 より大きくかつ 3.3 未満となるように設計されていることを特徴とする単一モードフォトリック結晶光ファイバ。

【数1】

$$V = \frac{2\pi\rho}{\lambda} (n_{\text{core}}^2 - n_{\text{eff}}^2)^{1/2}$$

(n_{eff} : クラッド部の有効屈折率、 n_{core} : コア部の屈折率)

【請求項2】 前記空孔のクラッド部における幾何学的配置、または、前記クラッド部もしくは前記コア部の光学定数分布の少なくとも一方が、前記コア部の中心軸に対して 3 回対称性未満となるように設定され、伝搬光の偏波モード縮退が解かれていることを特徴とする請求項1に記載の単一モードフォトリック結晶光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、単一モードフォトリック結晶光ファイバに関し、より詳細には、曲げ光損失の少ない単一モードフォトリック結晶光ファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】

単一モード光ファイバは伝搬モードが1つもしくは縮退した複数のモードであるため、モード分散による伝搬中の波形歪がなく、また、各種光部品とのモードの整合性がよいことから、各種光部品や光伝送路などとして広く利用されている

【0003】

特に、フォトニック結晶構造の単一モード光ファイバ（単一モードフォトニック結晶光ファイバ）は、そのクラッド部に設けられた空孔をどのように配置するかによって特性設計が可能であり、例えば、空孔を六方最密に配置した構造は、最も製造が容易な光ファイバの構造である。すなわち、同一外径の円柱を隙間なく配列させると、その断面は自然に六方最密構造をとることとなるが、このような状態で、光ファイバのクラッド部に相当する円柱状のガラス母材の中心に母線方向に所望の径の孔を設けて配列させると、任意の径の空孔がクラッド部に空間的に分布した構造の光ファイバが得られる。また、一部の空孔の径を、他の空孔の径と異なるものとするすることで、光ファイバの局所的な有効屈折率を変化させることも可能となる。更に、フォトニック結晶構造の光ファイバは、その特性が、空気とガラスの間の大きな屈折率の差に依存するため、上述した空孔の配列を変えることで特性の波長依存性を大きく変化させることも可能である。

【0004】

従来の単一モードフォトニック結晶光ファイバは、通常の単一モード光ファイバと同様に、正規化周波数 V の値が2.4以下、もしくは、次式によって与えられる実効正規化周波数 V_{eff} の値が4以下であることが必要であるとされていた（非特許文献1参照）。

【0005】

【数2】

$$V_{eff} = \frac{2\pi\Lambda}{\lambda} (n_{core}^2 - n_{eff}^2)^{1/2}$$

【0006】

ここで、 Λ は空孔の中心の平均間隔、 λ は伝搬光の波長、 n_{core} はコア部の屈折率、そして、 n_{eff} はクラッド部の有効屈折率である。

【0007】

【非特許文献1】

T.Bricks et al., Opt. Lett., vol.22, p.961, 1997.

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

一般に、光ファイバを曲げた際の光漏れ（曲げ光損失）を抑制する構造とするためにはV値は大きいほうが好ましいが、従来の単一モードフォトニック結晶光ファイバではV値を充分大きくとることができず、曲げ光損失を抑制することが困難であった。また、低損失化した際に取り得るV値の範囲も狭く、分散特性などの光学特性範囲が狭くなってしまうという問題があった。

【0009】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、光学的特性の設計自由度が高く、かつ、曲げ光損失の少ない単一モードフォトニック結晶光ファイバを提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明は、このような目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、単一モードフォトニック結晶光ファイバであって、幾何学的半径 ρ のコア部の周囲に、ファイバの伸長方向に延在する直径 d の複数の円柱状空孔が中心間隔 Λ で周期的に配置されたクラッド部を備え、前記コア部および前記クラッド部はガラスもしくはプラスチックからなり、前記空孔の中心間隔 Λ は伝搬光の波長 λ の1.5倍以上とされるときともに、次式により求められる正規化周波数 V が2.4より大きくかつ3.3未満となるように設計されていることを特徴とする。

【0011】

【数3】

$$V = \frac{2\pi\rho}{\lambda} (n_{\text{core}}^2 - n_{\text{eff}}^2)^{1/2}$$

【0012】

(n_{eff} : クラッド部の有効屈折率、 n_{core} : コア部の屈折率)

【0013】

また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の単一モードフォトニック結晶光ファイバにおいて、前記空孔のクラッド部における幾何学的配置、または、

前記クラッド部もしくは前記コア部の光学定数分布の少なくとも一方が、前記コア部の中心軸に対して3回対称性未満となるように設定され、伝搬光の偏波モード縮退が解かれていることを特徴とする。

【0014】

【発明の実施の形態】

以下に、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。

【0015】

図1は、本発明の単一モードフォトニック結晶光ファイバの構造例を説明するための図で、図1(a)はこの光ファイバの断面図、図1(b)は図1(a)のコア部近傍の拡大図である。

【0016】

この光ファイバは、ガラスもしくはプラスチックを材料とする光ファイバであって、クラッド部12の中心に幾何学的半径 ρ のコア部11を有し、クラッド部12の外表面はファイバ材料13で覆われている。クラッド部12には、直径 d の多数の空孔14が中心間隔 Λ で周期的に配置され光の伝搬方向に沿って延在している。コア部11には空孔が配置されておらず、クラッド部12の空孔14によって取り囲まれている。

【0017】

本発明の単一モード光ファイバにおいては、空孔の中心間隔 Λ は伝搬光の波長 λ の1.5倍以上とされるときともに、クラッド部12の有効屈折率 n_{eff} とコア材質の屈折率 n_{core} から、次式により求められる V 値が2.4より大きくかつ3.3未満となるように設計されている。

【0018】

【数4】

$$V = \frac{2\pi\rho}{\lambda} (n_{core}^2 - n_{eff}^2)^{1/2} \quad (1)$$

【0019】

なお、ある伝搬光の波長におけるクラッド部の有効屈折率 n_{eff} は、クラッド部と同じ構造をもつ無限大の平面に電磁波が入射したときの屈折率であり、 F

D T D法や有限要素法などの電磁界解析により求めることができる。また、コア部の屈折率 n_{core} はコア材質により定まる。さらに、コア部 11 の幾何学的半径 ρ は、空孔 14 に内接する多角形の対向する辺相互間の距離の半分で定義され、図 1 に示した空孔配列の場合には、内接多角形は 6 角形であり、 $\rho = (2\Lambda - d) / 2$ となる。

【0020】

単一モードフォトニック結晶光ファイバをこのように構成することは、以下のような着想に基づくものである。

【0021】

一般に、フォトニック結晶構造を有する光ファイバは、その空孔の配置により光学特性を設計することが可能であるが、フォトニック結晶光ファイバは従来の一般的な光ファイバのような弱導波近似が成立しないために、その特性評価には電磁界解析を行う必要がある。発明者がフォトニック結晶光ファイバについて行った精密な計算によれば、フォトニック結晶光ファイバにおいては、空孔の中心の平均間隔 Λ が使用する光の波長 λ に比較して大きい場合には、 V 値が 3.3 未満であれば単一モード動作することを見出した。

【0022】

表 1 は、波長 $1.55 \mu m$ において計算した V 値を纏めたもので、横行の数字は Λ / λ の値を意味し、縦列の数字は d / Λ の値を意味しており、波長 $1.55 \mu m$ における有効屈折率 n_{eff} を F D T D 法による電磁界解析により求めた結果に基づいて算出したものである。

【0023】

【表 1】

	1	1.5	2	3	4	5	6
0.9	3.084975001	—	5.239414873	—	6.905900079	—	7.493551128
0.8	<i>2.886174789</i>	3.808847846	4.398182032	5.070760951	5.436495416	5.663553153	5.817327725
0.7	<i>2.633456507</i>	3.333823439	3.74509337	—	—	—	—
0.6	<i>2.36799343</i>	<i>2.926547295</i>	<i>3.239503162</i>	3.571374006	3.745593367	3.85255735	3.925443222
0.5	—	<i>2.568039343</i>	<i>2.826403078</i>	<i>3.090835754</i>	<i>3.225793778</i>	3.308923979	3.364647526
0.4	—	—	—	—	<i>2.806998399</i>	<i>2.87538232</i>	<i>2.921618315</i>
0.3	<i>1.507426261</i>	<i>1.88738991</i>	<i>2.108478301</i>	<i>2.330392458</i>	<i>2.436070975</i>	<i>2.498554896</i>	<i>2.539538169</i>
0.1	<i>0.661292571</i>	—	<i>1.122272096</i>	<i>1.402346686</i>	<i>1.562521901</i>	<i>1.658943835</i>	<i>1.72090935</i>

【0024】

なお、この計算は、単一モードフォトリック結晶光ファイバの構造を、同じ外径のガラス円柱管を束ね中心の一本をガラス棒で置換した最も単純な構造とし、クラッド部は、空孔のある構造が無限に広がっているものとして実行している。

【0025】

表1において、斜体で示した部分が単一モードとなる領域であり、高次モードがコア部により閉じ込められていない場合（すなわち漏れ出している場合）を単一モード領域であると判定している。

【0026】

図2は、フォトリック結晶光ファイバ中での高次モードの電磁界の強度分布を説明するための光ファイバの断面図で、図2（a）は単一モード光ファイバの場合、図2（b）は単一モード光ファイバでない場合の電磁界強度分布の例である。光ファイバの中心領域にコア部がありその周りにクラッド部の空孔が配置され、黒く示された領域が光が集中している領域に対応している。

【0027】

表1から、空孔の中心間隔 Δ が伝搬光の波長 λ の1.5倍以上である場合（ Δ/λ が1.5以上である場合）には、V値が3.3未満となり単一モード動作することがわかる。

【0028】

なお、この解析においては V 値を指標として用いている。これは、 V_{eff} の値は V 値に比較して簡単に求めることが可能であるものの、 V_{eff} 値を用いたのでは空孔の大きさの影響を考慮することができないためである。また、クラッド部の空孔の配置や数はここで示したものに限定される必要はなく、径を異にする空孔をクラッド部に配置するようにしてもよい。さらに、コア部の幾何学的半径も適宜自由に設定可能である。

【0029】

このような構造の単一モードフォトニック結晶光ファイバは、コア部を形成するための円柱状ガラス棒と、空孔を有するクラッド部を形成するための複数の円筒状ガラス管とを束ねることにより作製可能である。すなわち、円柱状ガラス棒と円筒状ガラス管とを束ねて母材とし、これを加熱・延伸すると、円柱状ガラス棒と円筒状ガラス管の隙間及び円筒状ガラス管相互の隙間が延伸過程で消失し、その結果、図1で示したような断面構造を有する単一モードフォトニック結晶光ファイバが得られることとなる。

【0030】

フォトニック結晶光ファイバは外径が数10～数100 μm であり、空孔の径は波長と同程度であるが、その作製においては、通常の光ファイバの作製と同様に、断面形状がほぼ相似形で、外径が数cm～数10cmの母材を作製し、線引き工程によってファイバ化するため、所望する断面形状をもつ母材を作製すればよく、微細加工は必要ない。例えば、同じ外径の円柱を隙間無く並べた場合、その横断面は六方最密構造をとるため、六方最密構造は製造が容易であるという利点がある。この円柱を中空のガラス円柱管とすればフォトニック結晶構造となり、これをクラッド部とし、中心の1本若しくは複数本をガラス棒とすればコア部を形成でき、光ファイバの母材を作製できる。また、ガラスの塊に孔をあける方法によれば、任意の配列の空孔をもつ光ファイバ母材を作製できる。もちろん、母材の作製方法はこれに限定されるものではない。

【0031】

さらに、一部の空孔の位置や大きさを変えることによって中心軸周りの対称性を3回対称性未満とし、偏波の縮退を解いて偏波保持光ファイバを作製すること

も可能である。

【0032】

図3は、コア部に隣接する6つの空孔のうちの2つの空孔の径を他の空孔径と異なるように設定してコア部の中心に対する回転対称性を2回対称とした場合の本発明の偏波保持単一モードフォトニック結晶光ファイバの構造例を説明するための図で、光ファイバのコア部近傍を拡大した図である。なお、軸対称性の落とし方はこの方法に限られず、例えば、空孔23の配置の仕方によってもよく、もしくは、コア部21やクラッド部22の屈折率分布を軸対称からずらすことによってもよい。

【0033】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、空孔の中心間隔 Λ を伝搬光の波長 λ の1.5倍以上とするとともにV値を2.4より大きくかつ3.3未満となるように設計したので、光学的特性の設計自由度が高くかつ曲げ光損失の少ない単一モードフォトニック結晶光ファイバを提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の単一モードフォトニック結晶光ファイバの構造例を説明するための図で、(a)はこの光ファイバの断面図、(b)は(a)のコア部近傍の拡大図である。

【図2】

フォトニック結晶光ファイバ中での高次モードの電磁界の強度分布を説明するための図で、(a)は単一モード光ファイバの場合、(b)は単一モード光ファイバでない場合の電磁界強度分布の例である。

【図3】

本発明の偏波保持単一モードフォトニック結晶光ファイバの構造例を説明するための図である。

【符号の説明】

11、21 コア部

12、22 クラッド部

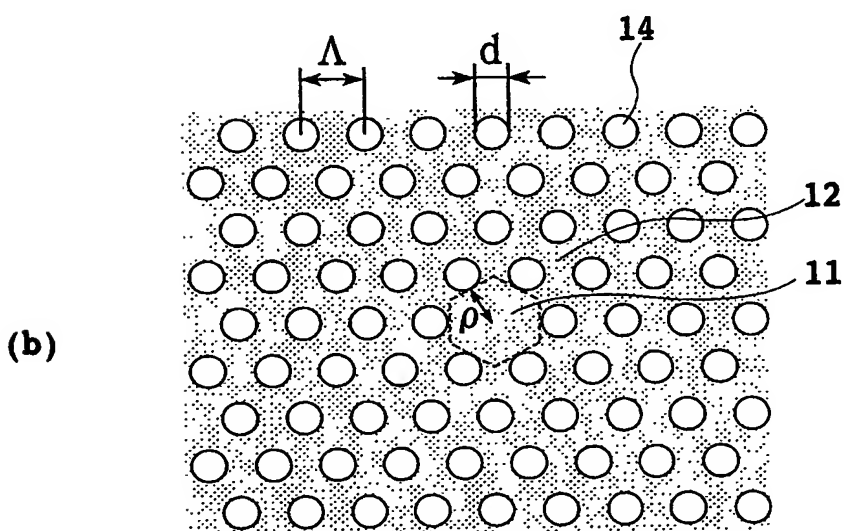
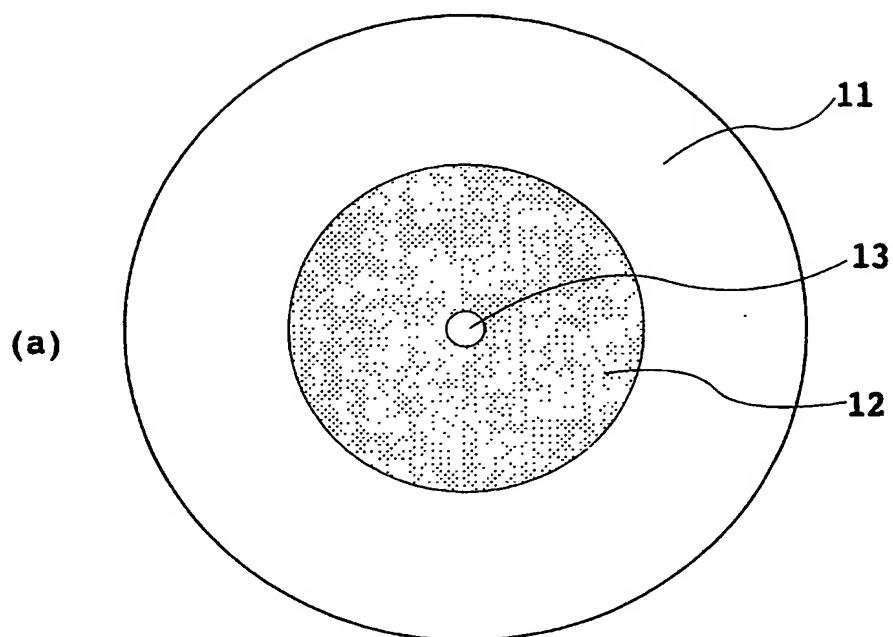
13 ファイバ材料

14、23 空孔

【書類名】

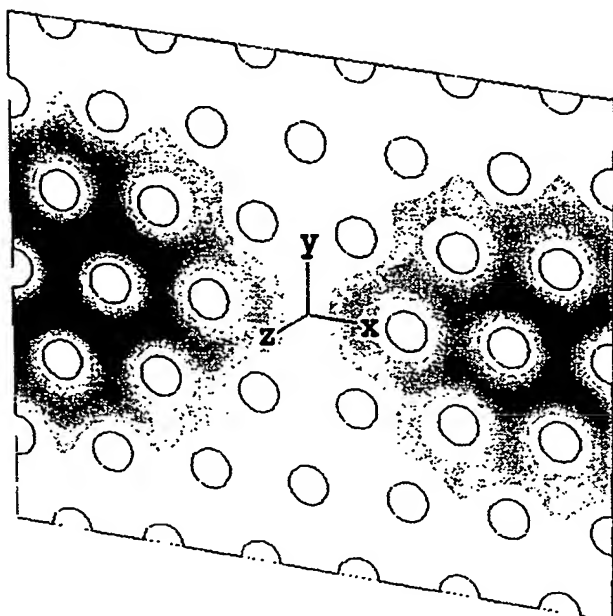
図面

【図 1】

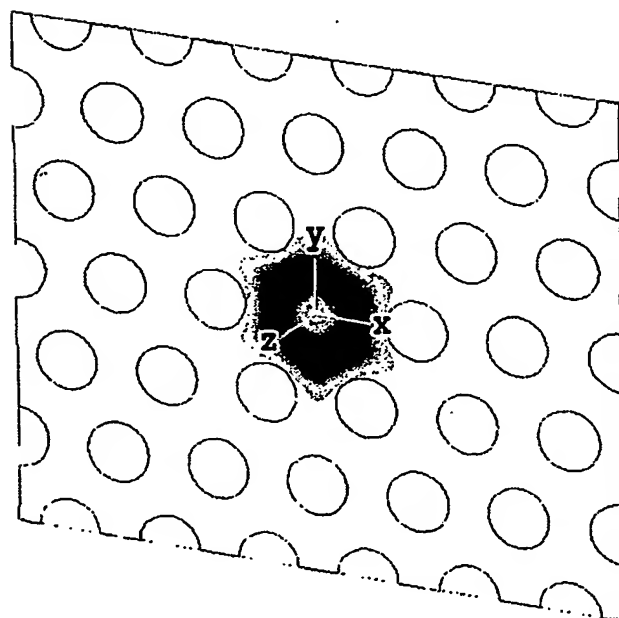


【図 2】

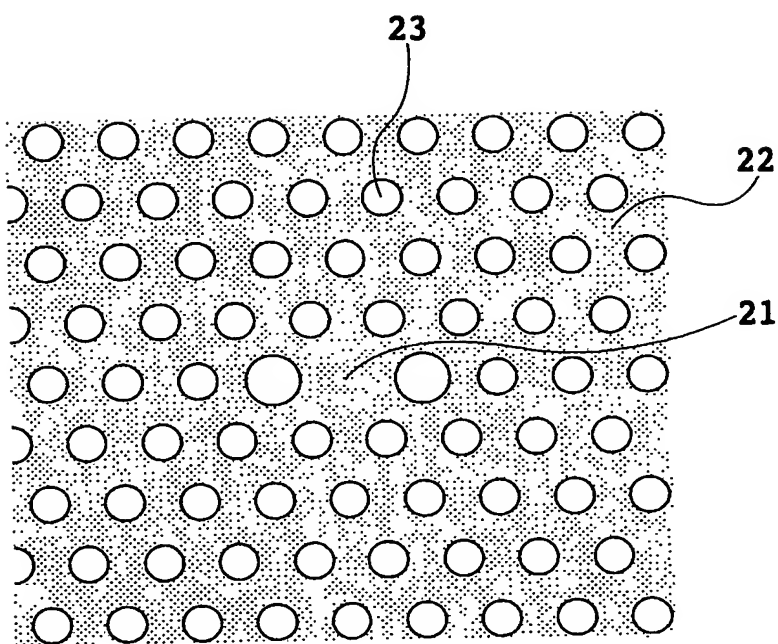
(a)



(b)



【図 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光学的特性の設計自由度が高く、かつ、曲げ光損失の少ない単一モードフォトニック結晶光ファイバを提供すること。

【解決手段】 幾何学的半径 ρ のコア部 11 の周囲に、直径 d の複数の円柱状空孔 14 が中心間隔 Λ で周期的に配置されたクラッド部 12 を設け、この空孔 14 の中心間隔 Λ を伝搬光の波長 λ の 1.5 倍以上とし、次式により求められる V 値が 2.4 より大きくかつ 3.3 未満となるように設計した。また、空孔 14 のクラッド部 12 における幾何学的配置、または、クラッド部 12 もしくはコア部 11 の光学定数分布の少なくとも一方を、コア部 11 の中心軸に対して 3 回対称性未満となるように設定して、伝搬光の偏波モード縮退を解くこととした。

【数 1】

$$V = \frac{2\pi\rho}{\lambda} (n_{\text{core}}^2 - n_{\text{eff}}^2)^{1/2}$$

(n_{eff} : クラッド部の有効屈折率、 n_{core} : コア部の屈折率)

【選択図】 図 1

特願 2002-359871

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000004226]

1. 変更年月日

1999年 7月15日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名

日本電信電話株式会社

特願 2 0 0 2 - 3 5 9 8 7 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 3 2 6 3]

- | | |
|----------|---------------------|
| 1. 変更年月日 | 2 0 0 2 年 1 月 3 1 日 |
| [変更理由] | 住所変更 |
| 住 所 | 兵庫県尼崎市東向島西之町 8 番地 |
| 氏 名 | 三菱電線工業株式会社 |
| | |
| 2. 変更年月日 | 2 0 0 3 年 7 月 1 日 |
| [変更理由] | 住所変更 |
| 住 所 | 兵庫県伊丹市池尻 4 丁目 3 番地 |
| 氏 名 | 三菱電線工業株式会社 |

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.